

Краткая история открытия, синтеза и анализа элементов

Глен У. Уотсон

Pub. No. 44 (Rev.)
September 1964
5M

1 H 1.0080								
3 Li 6.940	4 Be 9.012							
11 Na 22.991	12 Mg 24.32							
19 K 39.100	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.90	23 V 50.95	24 Cr 52.01	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	
37 Rb 85.48	38 Sr 87.63	39 Y 88.92	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc (101)	44 Ru 101.1	
55 Cs 132.91	56 Ba 137.36	57-71 La Series	72 Hf 178.50	73 Ta 180.95	74 W 183.86	75 Re 186.22	76 Os 190.2	
87 Fr 226.03	88 Ra 226.03	89-103 Ac Series	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)	
Lanthanide Series		57 La 138.92	58 Ce 140.13	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	
Actinide Series		89 Ac 227.04	90 Th 232.05	91 Pa 231.05	92 U 238.04	93 Np 237	94 Pu 244	

Электронная книга проекта "Гутенберг", содержащая Краткую историю открытия, синтеза и анализа элементов

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Краткая история открытия, синтеза и анализа элементов

Автор: Глен У. уотсон

Дата выхода: 13 марта 2010 [Электронная книга №31624]

Язык: Английский

В титрах: Продюсерами выступили Марк К. Ортон, Эрика Пфистер-Альтшул и команда онлайн-редакторов, распространяющих корректуру по адресу <http://www.pgdp.net>

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА ГУТЕНБЕРГА "КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ, СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ" ***

Краткая история ОТКРЫТИЯ, СИНТЕЗА и АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ

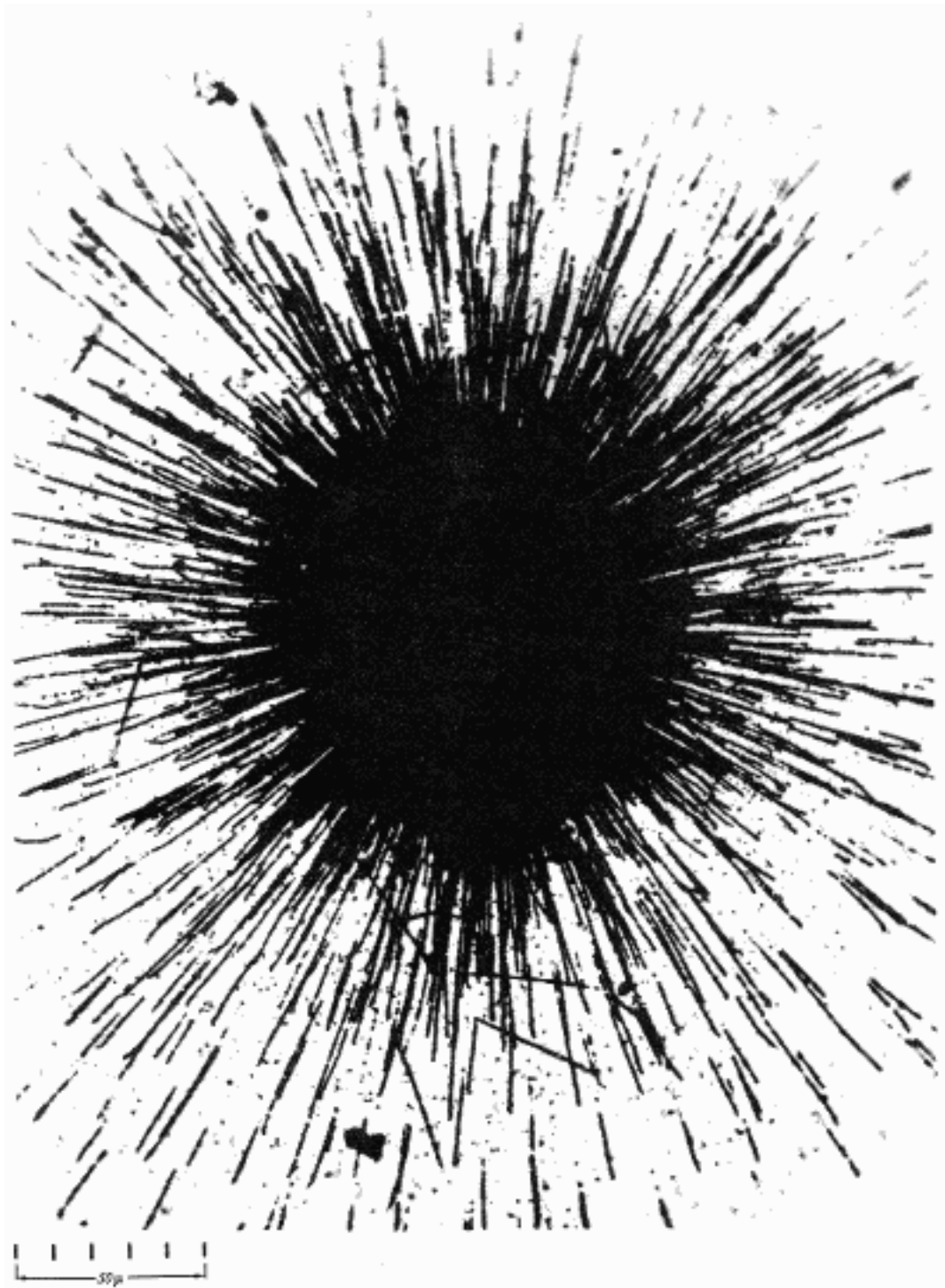
Глен У. Уотсон

Сентябрь 1963 года



РАДИАЦИОННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ Лоуренса
Калифорнийский
университет Беркли и Ливермор,,

*Работает по контракту с
Комиссией по атомной энергии Соединенных Штатов*



Радиоактивные элементы: альфа-частицы из крупинки радия оставляют следы на фотоэмульсии. (Оччиалини и Пауэлл, 1947)

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ, СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ

Хорошо известно, что число элементов выросло с четырех во времена греков до 103 в настоящее время, но изменение методов, необходимых для их открытия, не так хорошо известно. Вплоть до 1939 года было открыто только 88 встречающихся в природе элементов. Потребовалась потрясающая современная техника (основанная на циклотроне Эрнеста О. Лоуренса, получившем Нобелевскую премию по атомной энергии), чтобы синтезировать самые недавно открытые элементы. Большинство этих недавних открытий напрямую приписываются ученым, работающим в рамках Комиссии по атомной энергии в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета в Беркли.

Но очевидно, что наши нынешние знания об элементах уходят корнями в историю: к английскому Эрнесту Резерфорду, который в 1919 году доказал, что иногда при столкновении альфа-частицы радия с атомом азота выбрасывается либо протон, либо ядро водорода; к датчанину Нильсу Бору и его идее об электронных орбитах 1913 года; к некогда неизвестному швейцарскому патентному клерку Альберту Эйнштейну и его ныне знаменитым теориям; к польской Марии Кюри, которая в 1898 году вместе со своим мужем-французом Пьером кропотливо выделила полоний и радий; к датскому ученому Нильсу Бору и его идее 1913 года об электронных орбитах. Французскому ученому Х. А. Беккерелю, который первым обнаружил то, что он назвал "спонтанным излучением проникающих лучей из определенных солей урана"; немецкому физику В. К. Рентгену и его открытию рентгеновских лучей в 1895 году; и еще дальше.

На этом этапе истории науки сама идея "элемента" претерпела несколько значительных изменений.

Древние греки считали землю, воздух, огонь и воду основным материалом, из которого были сделаны все остальные. Аристотель рассматривал их как комбинации четырех свойств: горячего, холодного, сухого и влажного (см. рис. 1).

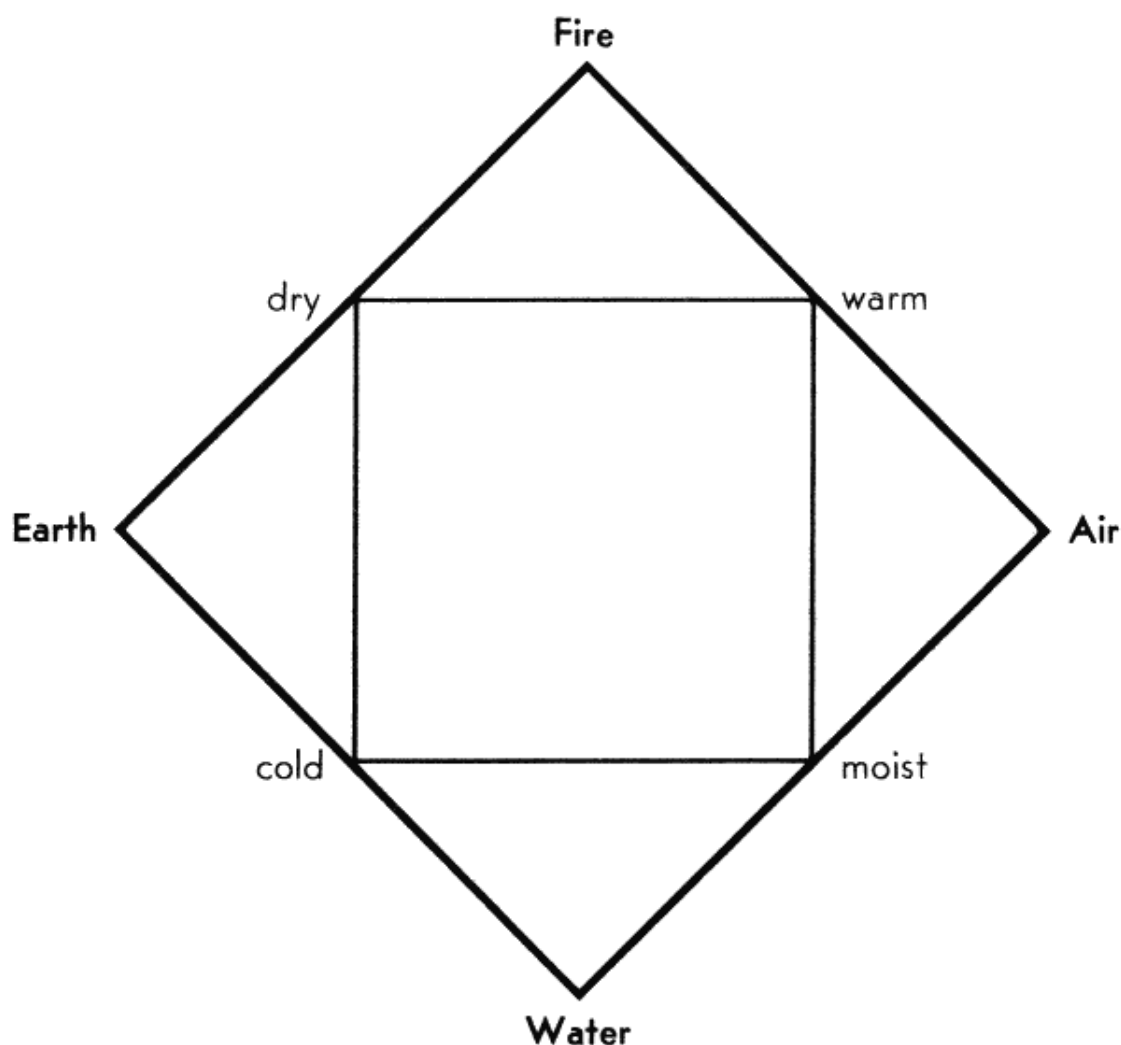


Рис. 1. Элементы, предложенные древними греками.

Позже была добавлена пятая "сущность", эфир, строительный материал небесных тел.

Парацельс (1493-1541) ввел три алхимических символа: соль, серу и ртуть. Сера была принципом воспламеняемости, соль - неизменяемой частью, оставшейся после горения (прокаливания), а ртуть - неотъемлемой частью всех металлов. Например, золото и серебро предположительно представляли собой различные комбинации серы и ртути.

Роберт Бойль в своей книге "Химик-скептик" (1661) впервые дал определение слову элемент в том значении, которое оно сохраняло до открытия радиоактивности (1896), а именно: форма материи, которая не может быть расщеплена на более простые формы.

Первым открытием настоящего элемента в историческое время было открытие фосфора доктором Брандом из Гамбурга в 1669 году. Брэнд держал свой процесс в секрете, но, как и в наше время, знаний о существовании элемента было достаточно, чтобы позволить другим, таким как Кункель и Бойл в Англии, вскоре самостоятельно изолировать его.

Как и в наш атомный век, был достигнут хрупкий баланс между "светоносной" (желаемой) и "теплоносительной" (опасной) силой открытия. Один из первых экспериментаторов сначала

был "в восторге от белого воскообразного вещества, которое так очаровательно светилось в темноте его лаборатории", но позже написал: "Я больше не делаю этого, потому что от этого может быть много вреда".

Роберт Бойл писал в 1680 году о фосфоре: "Он сиял так ярко и выглядел так странно, что зрелище было чрезвычайно приятным, в нем была смесь странности, красоты и устрашения".

Эти слова почти точно описывают впечатления очевидцев первого испытания атомной бомбы в Аламагордо, штат Нью-Мексико, 16 июля 1945 года.

В течение следующих двух и трех четвертей веков химии получали массу удовольствия и некоторую известность, открывая новые элементы. Часто между открытием и признанием проходил длительный интервал. Таким образом, Шееле получил хлор в 1774 году путем воздействия "черного марганца" (диоксида марганца) на концентрированную соляную кислоту, но он не был признан элементом до работы Дэви в 1810 году.

Иногда разработка новой техники приводила к "легкому" открытию целой группы новых элементов. Таким образом, Дэви, начиная с 1807 года, применил метод электролиза, используя в качестве источника тока реактор Вольты; за короткое время он открыл алюминий, барий, бор, кальций, магний, калий, натрий и стронций.

Изобретение спектроскопа Бунзеном и Кирхгофом в 1859 году дало новый инструмент, который мог установить чистоту уже известных веществ и привести к открытию других. Таким образом, гелий был обнаружен в спектре солнца Янсеном и выделен из уранита Рамзеем в 1895 году.

Открытие радиоактивности Беккерелем в 1896 году (начатое открытием рентгеновских лучей Рентгеном годом ранее) дало еще более чувствительный метод обнаружения присутствия или отсутствия определенных видов материи. Хорошо известно, что Пьер и Мария Кюри использовали эту вновь обнаруженную радиоактивность для идентификации новых элементов полония и радия. Соединения этих новых элементов были получены путем терпеливой фракционной перекристаллизации их солей.

"Объяснение" радиоактивности привело к открытию изотопов Резерфордом и Содди в 1914 году, и с этим открытием стал необходимым пересмотр нашего представления об элементах. Со времен Бойля предполагалось, что все атомы отдельных элементов идентичны и непохожи ни на какие другие и не могут быть преобразованы во что-либо более простое. Теперь стало очевидно, что атомы радиоактивных элементов постоянно превращаются в другие элементы, выделяя тем самым очень большое количество энергии, и что возможно множество различных форм одного и того же элемента (свинец был изучен первым). Теперь мы думаем об элементе как о форме материи, в которой все атомы имеют одинаковый ядерный заряд.

Человеческий разум всегда стремился к упорядочению и упрощению внешнего мира; в химии плодотворными классификациями были триады Доберейнера (1829), закон октав Ньюленда (1865) и периодический закон Менделеева (1869). Диаграмма, выражающая этот периодический закон, по-видимому, указывала на максимальную протяженность элементов и давала хорошие подсказки, "где искать" и "вероятные свойства" оставшихся (см. Рис. 2).

К 1925 году все ячейки в досье на 92 места, кроме четырех, были заполнены. Вакансии были на 43, 61, 85 и 87 местах.

1 H 1.0080																		2 He 4.003																	
3 Li 6.940		4 Be 9.013																5 B 10.82		6 C 12.011		7 N 14.008		8 O 16.000		9 F 19.00		10 Ne 20.183							
11 Na 22.991		12 Mg 24.32																13 Al 26.98		14 Si 28.09		15 P 30.975		16 S 32.066		17 Cl 35.457		18 Ar 39.944							
19 K 39.100		20 Ca 40.08		21 Sc 44.96		22 Ti 47.90		23 V 50.95		24 Cr 52.01		25 Mn 54.94		26 Fe 55.85		27 Co 58.94		28 Ni 58.71		29 Cu 63.54		30 Zn 65.38		31 Ga 69.72		32 Ge 72.60		33 As 74.91		34 Se 78.96		35 Br 79.916		36 Kr 83.80	
37 Rb 85.48		38 Sr 87.63		39 Y 88.92		40 Zr 91.22		41 Nb 92.91		42 Mo 95.95		43 Tc 101.1		44 Ru 101.1		45 Rh 102.91		46 Pd 106.4		47 Ag 107.890		48 Cd 112.41		49 In 114.82		50 Sn 118.70		51 Sb 121.76		52 Te 127.61		53 I 126.91		54 Xe 131.30	
55 Cs 132.91		56 Ba 137.36		57-71 La Series		72 Hf 178.50		73 Ta 180.95		74 W 183.86		75 Re 186.22		76 Os 190.2		77 Ir 192.2		78 Pt 195.09		79 Au 197.0		80 Hg 200.61		81 Tl 204.39		82 Pb 207.21		83 Bi 208.99		84 Po		85 At		86 Rn	
87 Fr		88 Ra 226.03		89-103 Ac Series																															

Lanthanide Series		57 La 138.92		58 Ce 140.13		59 Pr 140.92		60 Nd 144.27		61 Pm		62 Sm 150.35		63 Eu 152.0		64 Gd 157.26		65 Tb 158.93		66 Dy 162.51		67 Ho 164.94		68 Er 167.27		69 Tm 168.94		70 Yb 173.04		71 Lu 174.99	
-------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	----------	--	--------------------	--	-------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--

Actinide Series		89 Ac 227.04		90 Th 232.05		91 Pa 231.05		92 U 238.04		93 Np 237		94 Pu [242]		95 Am [243]		96 Cm [247]		97 Bk [247]		98 Cf [249]		99 Es [254]		100 Fm [253]		101 Md [256]		102		103 Lw	
-----------------	--	--------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	-------------------	--	-----------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	-----	--	-----------	--

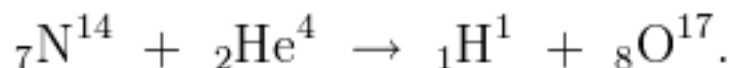
Рис. 2.

Периодическая таблица элементов (1963)

Работники, использующие традиционные аналитические методы, продолжали искать эти элементы, но их усилия были заранее обречены на провал. Ни одно из ядер изотопов элементов 43, 61, 85, и 87 не является стабильным; следовательно, в природе не существует их весомых количеств, и пришлось разработать новые методы, прежде чем мы действительно смогли сказать, что "открыли" их.

В 1919 году Резерфорд научно достиг того, чего не смогли добиться средневековые алхимики с помощью "магических" экспериментов и других менее сложных техник. Он нашел не золото (цель алхимиков), а нечто более ценное, обладающее еще большим потенциалом для добра и зла: метод превращения одного элемента в другой. Бомбардируя ядра азота альфа-частицами радия, он обнаружил, что азот превращается в кислород.

Процесс радиоактивной трансмутации чем-то напоминает обычную химическую реакцию. Альфа-частица, которая имеет тот же заряд (+2) и атомную массу (4), что и ядро гелия, преодолевает силы отталкивания ядра азота и откладывает один протон и один нейтрон; это превращает атом азота в атом кислорода. Реакция написана



Число в левом нижнем углу каждого символа элемента в приведенной выше реакции - это протонное число. Это число определяет основную химическую принадлежность атома, и именно это число ученые должны изменить, прежде чем один элемент сможет быть преобразован в другой. Обычным способом добиться этого искусственным путем является бомбардировка ядер ядерными снарядами.

Резерфорд использовал природные альфа-частицы радия в качестве своих снарядов, потому что они были наиболее эффективными, какие он смог тогда найти. Но у этих естественных альфа-частиц есть несколько недостатков: они заряжены положительно, как и само ядро, и поэтому более или менее отталкиваются в зависимости от числа протонов в бомбардируемом элементе; они движутся недостаточно быстро, чтобы проникнуть в ядра более тяжелых элементов (тех, у которых много протонов); и, по различным другим причинам (некоторые из них необъяснимы), неэффективны при разрушении ядра. Подсчитано, что только 1 из 300 000 этих альфа-частиц вступит в реакцию с азотом.

Физики немедленно начали поиск искусственных средств для ускорения более широкого спектра ядерных частиц до высоких энергий.

Протоны, поскольку они имеют заряд $+1$, а не $+2$ альфа-частиц, менее сильно отталкиваются положительным зарядом ядра и поэтому более полезны в качестве бомбардирующих снарядов. В 1929 году Э. Т. С. Уолтон и Дж. Д. Кокрофт пропустили электрический разряд через газообразный водород, тем самым удалив электроны из атома водорода; в результате остался пучок протонов (то есть ионов водорода), который затем был ускорен высоким напряжением. Этот умножитель напряжения Кокрофта-Уолтона ускорял протоны до довольно высоких энергий (около 800 000 электронвольт), но протоны все еще имели положительный заряд, и их энергии все еще были недостаточно высокими, чтобы преодолеть силы отталкивания (кулоновское отталкивание) более тяжелых ядер.

Более поздняя разработка, электростатический генератор Ван де Граафа, создавал пучок ионов водорода и других положительно заряженных ионов, а также электронов с еще более высокими энергиями. Ранняя модель линейного ускорителя также давала пучок тяжелых положительных ионов при высоких энергиях. Это были следующие два прибора, разработанные в поисках эффективных бомбардирующих снарядов. Однако тупик продолжался: ни один инструмент не позволил ученым расколоть ядра более тяжелых элементов.

Циклотрон Эрнеста О. Лоуренса, построенный в 1931 году, был первым устройством, способным разгонять положительные ионы до необходимых очень высоких энергий. Его основной принцип действия понять несложно. Заряженная частица, ускоряемая в циклотроне, аналогична шарiku, который вращается на веревочке, прикрепленной к верхушке шеста. Отрицательное электрическое поле притягивает к себе положительно заряженную частицу (шарик), а затем выключается до тех пор, пока частица не повернется наполовину; затем поле снова становится отрицательным перед частицей и снова притягивает ее. По мере того, как частица движется все быстрее и быстрее, она вытягивается наружу по спирали по все увеличивающемуся кругу, что-то вроде привязного шарика, разматывающегося с шеста. Ранее ученым достигнутые энергии показались бы фантастическими. Беватрон, современное детище первого циклотрона, разгоняет протоны до 99,13% скорости света, тем самым давая им 6,2 миллиарда электрон-вольт (БэВ).

Другой прибор, линейный ускоритель тяжелых ионов (Hilac), разгоняет такие тяжелые ионы, как неон, примерно до 15% скорости света. Его называют линейным ускорителем, потому что он ускоряет частицы по прямой. В настоящее время (1963 год) Стэнфордский университет

находится в процессе строительства линейного ускорителя длиной около двух миль, который будет разгонять заряженные частицы до 99,9% скорости света.

Но высокоускоренные заряженные частицы не решили всех вопросов науки о внутренней работе ядра.

В 1932 году, во время первых поисков более эффективных способов бомбардировки ядер, Джеймс Чедвик открыл нейтрон. Эта частица, которая имеет нейтральный заряд и примерно такую же массу, как протон, обладает замечательным качеством эффективного проведения ядерных реакций даже при очень низких энергиях. Никто точно не знает, почему. При низких энергиях протоны, альфа-частицы или другие заряженные частицы не взаимодействуют с ядрами, потому что они не могут преодолеть электростатические энергетические барьеры. Например, медленные положительные частицы захватывают электроны, становятся нейтральными и теряют способность вызывать ядерные превращения. С другой стороны, медленные нейтроны могут проникать почти во все атомные ядра и вызывать деление некоторых более тяжелых. Фактически, именно эти свойства нейтрона сделали возможным использование атомной энергии.

С помощью этих инструментов исследователям не пришлось долго ждать, чтобы точно идентифицировать недостающие элементы 43, 61, 85, 87 и более — действительно, список новых элементов, изотопов и частиц теперь кажется бесконечным.

Элемент 43 был "изготовлен" впервые в результате бомбардировки молибдена дейтронами в циклотроне Berkeley. Химическая работа по идентификации элемента была проведена Эмилио Сегре и другими, работавшими в то время в Палермо, Сицилия, и они решили назвать его технецием, потому что это был элемент, впервые полученный искусственными техническими методами.

Элемент 61 был впервые получен из продуктов распада урана в реакторе Клинтон (Ок-Ридж). Марински и Глендин, которые проводили химическую идентификацию, решили назвать его прометием, потому что хотели указать, что точно так же, как Прометей украл огонь (великую силу добра или зла) из скрытого хранилища богов и подарил его человеку, так и их недавно собранный реактор предоставил человечеству еще большую силу - ядерную энергию.

Элемент 85 называется астатином, от греческого *astatos*, что означает "нестабильный", потому что астатин *is* нестабилен (конечно, все другие элементы, имеющие число ядерного заряда больше 84, тоже нестабильны). Астатин впервые был получен в Беркли путем бомбардировки висмута альфа-частицами, в результате чего образовался астатин и выделились два нейтрона. С тех пор этот элемент был обнаружен в природе как небольшая составляющая естественного распада актиния.

Последним из первоначальных 92 открытых элементов был элемент 87 - франций. Он был идентифицирован в 1939 году французской ученой Маргаритой Перей.

У детей есть игра, в которой они складывают кубики, чтобы посмотреть, как высоко они смогут подняться, прежде чем опрокинутся. Во времена средневековья мелкие правители в своих итальянских государствах соперничали друг с другом в том, кто сможет построить самую высокую башню. Некоторые прекрасные результаты этой игры до сих пор остаются во Флоренции, Сиене и других итальянских городах на холмах. В настоящее время американцы

аналогичным образом конкурируют с колесной базой и общей длиной своих автомобилей. После 1934 года игра среди ученых приняла форму выяснения, кто сможет увеличить длину периодической системы элементов; как и в случае со средневековыми башнями, именно Италия снова начала с наибольшим энтузиазмом и активностью под руководством Энрико Ферми.

Простого добавления нейтронов было бы недостаточно; это привело бы к получению только более тяжелого изотопа уже известного самого тяжелого элемента - урана. Однако, если бы входящий нейтрон вызвал некоторую перегруппировку внутри ядра и если бы это сопровождалось выбросом электронов, это *would* привело бы к образованию нового элемента. Испытания, проведенные Ферми и его коллегами с различными элементами, привели к безошибочным доказательствам выброса электронов (бета-активности) по крайней мере с четырьмя различными скоростями распада (периодами полураспада). Были выдвинуты претензии на создание элементов 93 и 94 и, возможно, далее (трансурановые элементы, таблица I). Однако было испытано много трудностей при доказательстве того, что активность действительно была обусловлена образованием элементов 93 и 94. По мере того как все больше людей проявляли интерес и расширяли масштабы экспериментов, картина скорее запутывалась, чем прояснялась. Тщательные исследования вскоре показали, что активность не уменьшалась логарифмически — это означает, что она была вызвана смесями, а не отдельными чистыми веществами, — и первоначальные четыре активности, о которых сообщил Ферми, выросли по крайней мере до девяти.

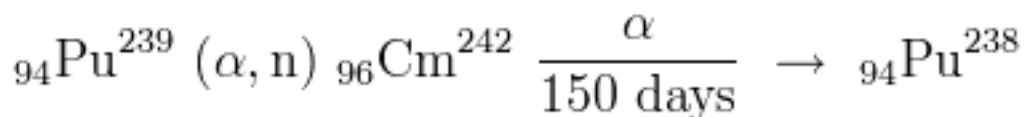
На самом деле, выход из создавшегося положения был указан вскоре после первоначального заявления Ферми. Доктор Ида Ноддак отметила, что никто не искал среди продуктов эксперимента Ферми элементы, более легкие, чем свинец, но в то время никто не обратил никакого внимания на ее предположение. Этот вопрос был окончательно прояснен докторами Отто Ханом и Ф. Штрассманом. Они смогли показать, что вместо урана, состоящего из маленьких кусочков, таких как ядра гелия, быстрые электроны и сверхтвердые рентгеновские лучи, отброшенных, как ожидалось, атом разделился на две примерно равные части вместе с некоторым избытком нейтронов. Этот процесс называется ядерным делением. Два больших фрагмента были нестабильны и продолжали распадаться с потерей электронов, отсюда и β -активность. Этот процесс настолько сложен, что существует не только четыре периода полураспада, как сообщалось первоначально, но и по меньшей мере 200 различных разновидностей по меньшей мере 35 различных элементов. Открытие ядерного деления, сопровождающегося выделением огромного количества энергии, привело к лихорадочной деятельности физиков и химиков по всему миру. В июне 1940 года Макмиллан и Абельсон представили убедительные доказательства того, что элемент 93 был обнаружен в уране, пронизанном нейтронами во время дейтроновой бомбардировки циклотрона в радиационной лаборатории Калифорнийского университета.

Калифорнийские ученые называли недавно открытый элемент нептунием, потому что он находится за пределами элемента Урана точно так же, как планета Нептун находится за пределами Урана. Конкретным изотопом, образовавшимся в тех первых экспериментах, был ${}_{93}\text{Np}^{239}$; это читается как нептуний, имеющий ядерный заряд 93 и атомный массовый номер 239. Период его полураспада составляет 2,3 дня, в течение которых он отдает еще один электрон (β -частицу) и становится элементом 94, или плутонием (названным так в честь Плутона, следующей планеты после Нептуна). Эта конкретная форма плутония (${}_{94}\text{Pu}^{239}$) имеет

такой длительный период полураспада (24 000 лет), что ее не удалось обнаружить. Первым обнаруженным изотопом 94-го элемента был Pu^{238} , полученный путем прямой бомбардировки дейтронами в 60-дюймовом циклотроне Беркли учеными радиационной лаборатории Сиборгом, Макмилланом, Кеннеди и Валем; период полураспада α -распада составлял 86,4 года, что придавало ему достаточную радиоактивность для изучения его химии.

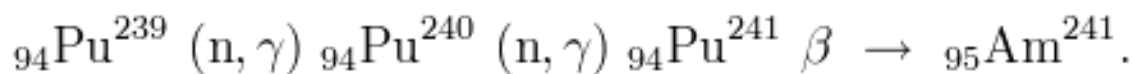
Обнаружив эти химические свойства у Pu^{238} , экспериментаторы знали, что ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ будет вести себя аналогично. Вскоре было показано, что ядро ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ будет подвергаться делению таким же образом, как ${}_{92}\text{U}^{235}$ при бомбардировке медленными нейтронами, и что его можно получить во вновь собранном атомном реакторе. Исследователи хотели узнать как можно больше о его химии; поэтому летом 1942 года два больших циклотрона в Сент-Луисе и Беркли почти непрерывно бомбардировали сотни фунтов урана. Это привело к образованию 200 микрограммов плутония. Из этого небольшого количества было изучено достаточно химических свойств элемента, чтобы обеспечить правильное проектирование огромного завода по переработке плутония в Хэнфорде, штат Вашингтон. В ходе этих исследований были разработаны весы, которые могли бы весить до 10,5 мг с чувствительностью 0,02 микрограмма. Используемые "пробирки" и "мензурки" имели внутренний диаметр от 0,1 до 1 мм и могли измерять объемы от 1/10 до 1/10 000 мл с точностью до 1%. Тот факт, что в Хэнфорде не было промежуточной стадии экспериментов, а прямое увеличение масштаба в десять миллиардов раз, требовал поистине героического мастерства и отваги.

К 1944 году из урановых реакторов было получено достаточное количество плутония, так что он был доступен в качестве материала-мишени для циклотронов. В Беркли его бомбардировали двузарядными ионами гелия с энергией 32 МэВ, и происходили следующие реакции:



Это следует прочитать: плутоний, имеющий атомный номер 94 (94 положительно заряженных протона в ядре) и массовое число 239 (весь атом весит примерно в 239 раз больше протона), при бомбардировке альфа-частицами (положительно заряженными ядрами гелия) реагирует с выделением нейтрона и нового элемента, кюрия, который имеет атомный номер 96 и массовое число 242. Он выделяет альфа-частицы с такой скоростью, что половина его разлагается за 150 дней, оставляя плутоний с атомным номером 94 и массовым числом 238. Радиохимическая работа, приведшая к выделению и идентификации атомов 96-го элемента, была проведена в металлургической лаборатории Чикагского университета.

Интенсивный поток нейтронов, доступный в современных реакторах, привел к появлению нового элемента, америция (Am), следующего:

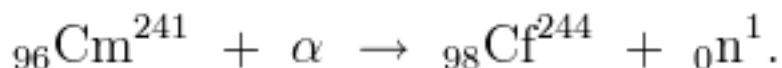


Обозначение (n, γ) означает, что плутоний поглощает нейтрон и выделяет некоторую энергию в виде гамма-лучей (очень жестких рентгеновских лучей); сначала он образует ${}_{94}\text{Pu}^{240}$, а затем ${}_{94}\text{Pu}^{241}$, который нестабилен и испускает быстрые электроны (β), оставляя ${}_{95}\text{Am}^{241}$.

Берклий и калифорний, элементы 97 и 98, были получены в Калифорнийском университете методами, аналогичными тем, которые использовались для кюрия, как показано в следующих уравнениях:



и



Следующие два элемента, эйнштейний (${}_{99}\text{Эс}$) и фермий (${}_{100}\text{Фм}$), первоначально были обнаружены в обломках термоядерного устройства "Майк", которое было взорвано на атолле Эниветок в ноябре 1952 года. (Этот метод создания новых веществ несколько более экстравагантен, чем мифический китайский метод сжигания здания дотла ради получения жареного поросенка.)

С тех пор эти элементы были получены в ядерных реакторах и путем бомбардировки. На этот раз "пуля" состояла из N^{14} электронов, пока ее заряд не достиг +6, а мишенью был плутоний.

Исследователи из Калифорнийского университета использовали новые методы для формирования и идентификации 101-го элемента менделевия. Очень тонкий слой ${}_{99}\text{Es}^{253}$ наносили гальваническим способом на тонкую золотую фольгу, а затем бомбардировали из-за слоя α -частицами с энергией 41 МэВ. Неизмененные ${}_{99}\text{Es}^{253}$ оставались на золоте, но те атомы, на которые попадали α -частицы, удалялись и осаждались на "улавливающую" золотую фольгу, которую затем растворяли и анализировали (рис. 3). Это освободило новый элемент от большинства очень реакционноспособных исходных веществ, что упростило анализ. Тем не менее, радиоактивность была настолько слабой, что новый элемент был идентифицирован "по одному атому за раз"; это возможно потому, что его дочерний элемент, фермий, самопроизвольно делится и выделяет энергию большими всплесками, чем любой возможный загрязнитель.

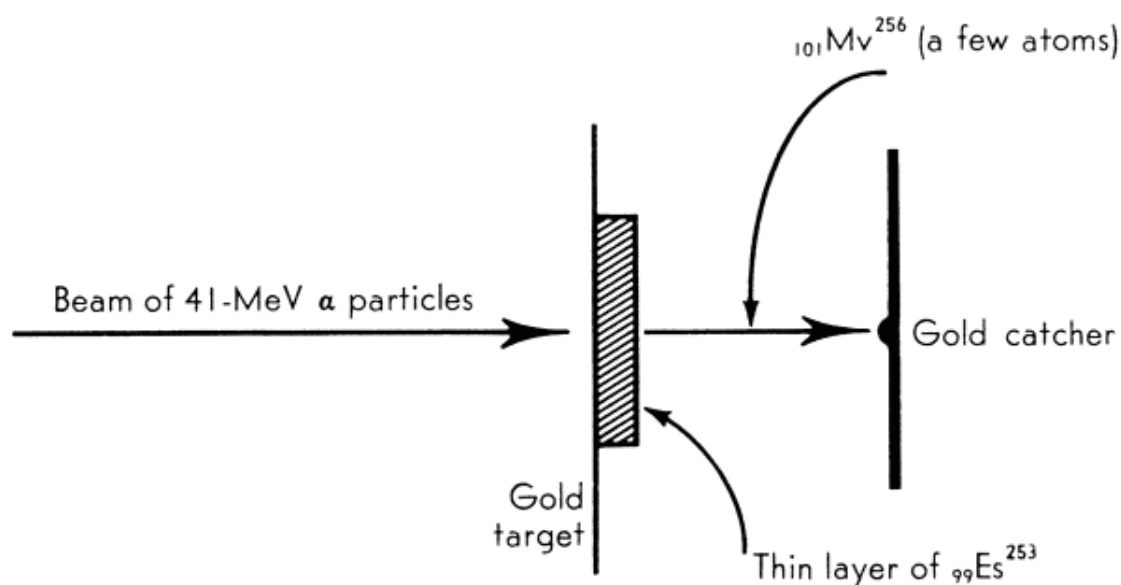


Рис. 3. Получение

менделевия.

В 1957 году в Стокгольме было сообщено об обнаружении элемента 102 международной группой ученых (которые назвали его нобелиум), но тщательные и обширные исследования не смогли повторить стокгольмские результаты. Однако еще более новая методика, разработанная в Беркли, показала следы — если не живое присутствие — 102 (см. рис. 4). Редкий изотоп кюрий-246 нанесен на небольшой кусочек никелевой фольги, заключен в контейнер, наполненный гелием, и помещен в пучок линейного ускорителя тяжелых ионов (Hilac). Положительно заряженные атомы элемента 102 выбиваются из фольги пучком, состоящим из ядер углерода-12 или углерода-13, и осаждаются на отрицательно заряженный конвейерный фартук. Но 102-й элемент живет недостаточно долго, чтобы его можно было реально измерить. По мере разложения его дочерний продукт, ${}_{100}\text{Fm}^{250}$, попадает на заряженную алюминиевую фольгу, где его можно проанализировать. Исследователи решили, что курица действительно появилась первой: у них есть яйцо; следовательно, курица должна была существовать. Измеряя расстояние по времени между целевым и дочерним продуктом, они пришли к выводу, что период полураспада курицы-матери (элемент 102) должен составлять три секунды.

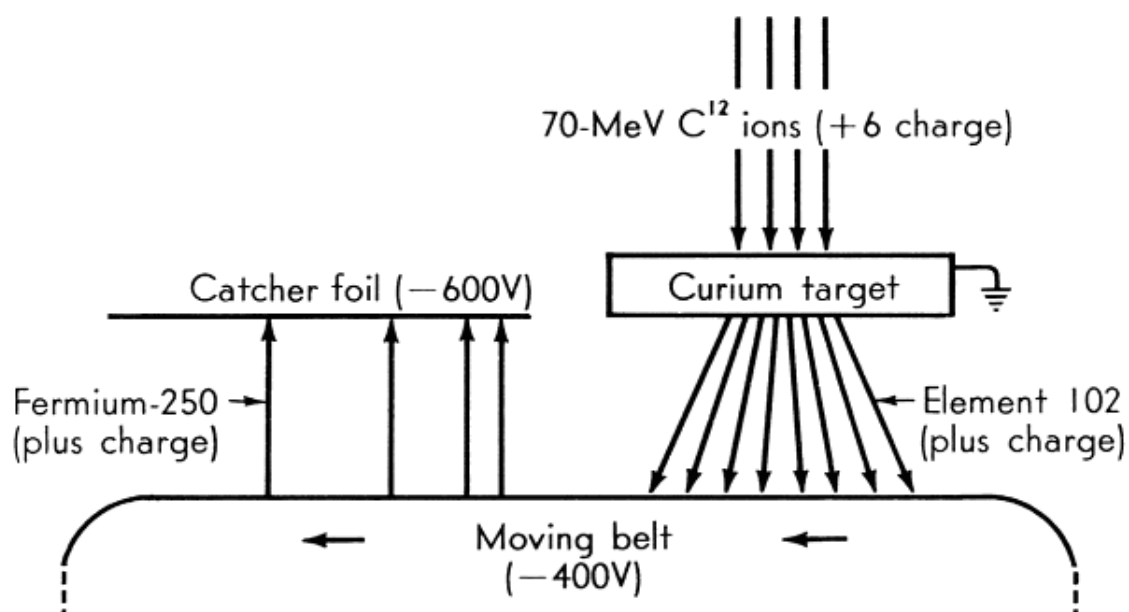


Рис. 4.

Экспериментальная схема, использованная при открытии элемента 102.

В ходе эксперимента, завершено в 1961 году, исследователи Калифорнийского университета в Беркли обнаружили похожие "следы", принадлежащие элементу 103 (названному лоуренсом в честь нобелевского лауреата Эрнеста О. Лоуренса). Они обнаружили, что при бомбардировке калифорния ионами бора высвобождаются α -частицы, которые имели энергию 8,6 МэВ и распадались с периодом полураспада 8 ± 2 секунды. Эти частицы могут быть произведены только элементом 103, который, согласно одной научной теории, является разновидностью "динозавра" материи, вымершего через несколько недель после сотворения Вселенной.

Период полураспада лоуренсия (L_w) составляет около 8 секунд, а его массовое число, как полагают, равно 257, хотя для окончательного установления этого требуются дальнейшие исследования.

Исследования лоуренсии сложны. Его общая α -активность составляет всего несколько отсчетов в час. И поскольку у ученых были только "следы" α -частиц, а не само животное, сложности возросли. Поэтому никакие прямые химические методы не могли быть использованы, и элемент 103 был первым, открытый исключительно ядерными методами.[\[A\]](#)

В течение многих лет периодическая система считалась замкнутой на уровне 92. В настоящее время он был расширен по меньшей мере на одиннадцать пунктов (таблица I), и одно из расширений (плутоний) было произведено в грузовых партиях. Его производство и использование влияют на жизнь каждого человека в Соединенных Штатах и большинстве стран мира.

Несомненно, конец снова близок, по крайней мере, для обычной материи, хотя настойчивые ученые могут перенести свои поиски на "анти" частицы из другого мира. Для этого тоже потребуются совершенно особые методы обнаружения их мимолетного присутствия.

Первые исследователи-энтузиасты жаловались, что жизнь человека была недостаточно долгой, чтобы позволить ему выполнять всю работу над элементом, которую он хотел бы проделать. Сейчас ситуация достигла состояния равновесия; ни человек, ни стихия не живут достаточно долго, чтобы выполнить всю желаемую работу.

[A] В августе 1964 года российские ученые заявили, что они создали элемент 104 с периодом полураспада около 0,3 секунды путем бомбардировки плутония ускоренными ионами неона-22.

Таблица I. ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Элемент	Название (Символ)	Массовое число	Год открытия; кем; где; как
93	Нептуния (Np)	238	1940; Э. М. Макмиллан, П. Х. Абельсон; Калифорнийский университет в Беркли; бомбардировка U^{238} медленными нейтронами в 60-дюймовом циклотроне.
94	Плутония (Pu)	238	1941; Дж. У. Кеннеди, Э. М.Макмиллан, Г. Т. Сиборг и А. К. Валь; Калифорнийский университет в Беркли; бомбардировка U^{238} дейтронами с энергией 16 МэВ в 60-дюймовом циклотроне.
	Плутоний (Pu)	239	Pu^{239} ; делящихся изотопов плутония, был также обнаружен в 1941 г. Дж. Кеннеди, Г. Т. Сиборг, Э. Segrè и А. С. Вол; Университет Калифорнии в Беркли; медленно-нейтронной бомбардировки урана ²³⁸ в 60-дюймовом

95	америций (Am)	241	циклотроне. 1944-45; Беркли ученые А. Ghiorso, Р. А. Джеймс, Л. О. Морган и Г. Т. Сиборгом в Чикагском университете; интенсивный нейтронной бомбардировки плутония в ядерных реакторах.
96	кюри (см)	242	1945; Беркли ученые А. Ghiorso, Р. А. Джеймс, и Г. Т. Сиборгом в Чикагском университете; бомбардировки плутония ²³⁹ на 32-МэВ ионами гелия с 60- дюймового циклотрона.
97	Беркулисом (БК)	243	1949; г. С. Томпсон, А. Ghiorso, и Г. Т. Сиборг; Университет Калифорнии в Беркли; 35-МэВ, гелия-ионной бомбардировки Ам - ²⁴¹ .
98	Калифорний (CF)	245	1950; г. С. Томпсон, К. улица, А. Ghiorso, Г. Т. Сиборг; Университет Калифорнии в Беркли; 35-МэВ, гелия-ионной бомбардировке см ²⁴² .
99	Эйнштейний (Эс)	253	1952-53; А. Ghiorso, Г. С. Томпсона, Г. Х.
100	фермия (FM радио)	255	Хиггинс, Г. Т. Сиборг, М. Х. конструктором, П. Р. поля, С. М. Фрид, Н. алмазов, Ю. Ф. мех, Г. Л. Пайл, И. Р. Хуизенга, А. Гирш, В. М. Мэннинг, С. И. Браун, Х. Л. Смит, Р. У.

			Спенс; "Майк" взрыв в южной части Тихого океана; работа в Университете Калифорнии в Беркли, Научной лаборатории Лос-Аламоса и Национальная лаборатория Аргонн; как элементы, созданные путем многократного захвата нейтронов в уран первого взрыва термоядерного устройства. Элементы были химически выделены из обломков взрыва.
101	Менделевий (Md)	256	1955 г.; А. Гиорсо, Б. Г. Харви, Г. Р. Чоппин, С. Г. Томпсон, Г. Т. Сиборг; Калифорнийский университет в Беркли; бомбардировка ионами гелия с энергией 41 МэВ Es^{253} в 60-дюймовом циклотроне.
102	Безымянная[B]	254	1958; А. Гиорсо, Т. Сиккеланд, А. Э. Ларш, Р. М. Латимер; Калифорнийский университет, Радиационная лаборатория Лоуренса, Беркли; бомбардировка углеродными ионами с энергией 68 МэВ Cm^{246} в линейном ускорителе тяжелых ионов (Hilac).
103	Лоуренсиум	257	1961; А. Гиорсо, Т.

Сиккеланд, А. Э.
Ларш, Р. М. Латимер;
Калифорнийский
университет,
Радиационная
лаборатория
Лоуренса, Беркли;
бомбардировка
ионами бора с
энергией 70 МэВ Cf^{250} ,
 Cf^{251} и Cf^{252} в Хилаке.

[B] Заявка 1957 года на синтез и идентификацию элемента 102 была принята в то время Международным союзом теоретической и прикладной химии, и было принято название nobelium (условное обозначение №). Ученые Калифорнийского университета А. Гиорсо и др., цитируемые здесь, считают, что они опровергли предыдущее утверждение и имеют право предложить другое название для элемента.

1
H
1.0080

3
Li
6.940

11
Na
22.991

4
Be
9.012

12
Mg
24.32

Pub. No. 44 (Rev.)
September 1964
5M

19
K
39.100

37
Rb
85.48

55
Cs
132.91

87
Fr

20
Ca
40.08

38
Sr
87.63

56
Ba
137.36

88
Ra
226.03

21
Sc
44.96

39
Y
88.92

57-71
La Series

89-103
Ac Series

22
Ti
47.90

40
Zr
91.22

72
Hf
178.50

(104)

23
V
50.95

41
Nb
92.91

73
Ta
180.95

(105)

24
Cr
52.01

42
Mo
95.95

74
W
183.86

(106)

25
Mn
54.94

43
Tc

75
Re
186.22

(107)

26
Fe
55.85

44
Ru
101.1

76
Os
190.2

(108)

Lanthanide
Series

57
La
138.92

58
Ce
140.13

59
Pr
140.92

60
Nd
144.27

61
Pm

62
Sm
150.36

Actinide
Series

89
Ac
227.04

90
Th
232.05

91
Pa
231.05

92
U
238.04

93
Np
237

94
Pu
[242]

and ANALYSIS



5 B 10.82	6 C 12.011	7 N 14.008	8 O 16.000	9 F 18.00	10 Ne 20.183
11 Al 26.98	12 Si 28.09	13 P 30.975	14 S 32.066	15 Cl 35.457	16 Ar 39.948
27 Co 58.94	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.60
45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.869	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.70
77 Ir 192.2	78 Pt 195.08	79 Au 197.0	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2
				83 Bi 208.98	84 Po
				85 At	86 Rn

LAWRENCE RADIATION LABORATORY
University of California, Berkeley and Livermore

53 Eu (152.0)	54 Gd (157.06)	55 Tb (158.93)	56 Dy (162.5)	57 Ho (164.94)	58 Er (167.27)	59 Tm (168.94)	60 Yb (173.04)	71 Lu (174.99)
95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (260)	102	103 Lw

Таблица I (Трансурановые элементы) первоначально располагалась в середине текста на страницах 12-13. Чтобы улучшить читаемость текста электронной книги, он был перенесен в конец текста.

Страница 8: "knowns" должно быть "знает"

Страница 17, сноска В: "plutonium" должно быть "плутоний"

Более точным отображением [уравнения](#) на [странице 11](#) было бы

